

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ**

**СРЕДНЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ**

И. С. Леднева

**МДК.02.02. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ  
СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)**

Практикум для обучающихся специальности  
13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Черкесск  
2023

УДК 621.315:658  
ББК 31.27  
Л 39

Рассмотрено на заседании ЦК «Технические дисциплины».  
Протокол № 1 от «1» сентября 2023 г.  
Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СКГА.  
Протокол № 26 от «29» сентября 2023 г.

**Рецензенты:** Шаманова Л.А. – преподаватель цикловой комиссии  
«Технические дисциплины»

Л39 **Леднева, И. С.** МДК.02.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения (Передача и распределение электрической энергии): практикум для обучающихся специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) / И.С. Леднева. – Черкесск: БИЦ СКГА, 2023. – 24 с.

В практикуме указаниях изложен перечень рекомендаций, необходимых для выполнения практических работ по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям).

Изложен в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом СПО (ФГОС) по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям).

**УДК 621.315:658**  
**ББК 31.27**

© Леднева И. С., 2023  
© ФГБОУ ВО СКГА, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа №1 Параметры электрических сетей.	5
Практическая работа №2 Параметры электрических сетей.	6
Практическая работа №3 Параметры электрических сетей.	8
Практическая работа №4 Схема замещения трансформаторов.	10
Практическая работа №5 Схема замещения трансформаторов.	12
Практическая работа №6 Схема замещения трансформаторов.	14
Практическая работа №7 Схема замещения трансформаторов.	16
Практическая работа №8 Схема замещения трансформаторов	17
Практическая работа №9 Расчеты режимов электрических сетей.	19
Практическая работа №10 Расчеты режимов электрических сетей.	20
Список литературы	23

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методическая разработка предназначена для оказания помощи студентам в изучении МДК.02.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения (Передача и распределение электрической энергии). Методичка облегчает выполнение практических работ, поможет усвоить учебный материал и повысить интерес к изучаемому предмету.

Настоящие методические указания содержат общие требования по выполнению практических работ для освоения программы МДК.02.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения (Передача и распределение электрической энергии).

Практические работы, выполняемые при изучении МДК.02.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения (Передача и распределение электрической энергии) знакомят обучающихся с расчетами параметров электрической сети, параметров трансформаторов.

Каждая практическая работа содержит теоретический материал, необходимые практические сведения.

Непосредственное участие в экспериментальных расчетах вырабатывает у обучающихся практические навыки по методике проведения расчетов и обработке их результатов. По полученным данным обучающиеся должны научиться оценивать основные показатели сети и трансформаторов. Прежде чем приступить к выполнению практической работы, необходимо тщательно изучить методику расчета, повторить теоретический материал.

Методические разработки призваны помочь обучающимся закрепить изученный теоретический материал.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

**Тема:** Параметры электрических сетей.

**Цель:** Определение погонных параметров одноцепной ВЛ.

### Задача.

Определить погонные параметры одноцепной воздушной линии (ВЛ) 6 кВ с проводами марки А25, расположенными на одностоечных опорах по вершинам равностороннего треугольника, расстояние между фазами 1,5 м (см. рис. 1.1). Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 4 км.

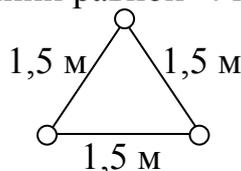


Рисунок 1.1.

### Решение:

1. Определяем погонное активное сопротивление и диаметр провода марки А25 по данным ГОСТ 839-80:  $r_0 = 1,14 \text{ Ом/км}$ ,  $d_{np} = 6,4 \text{ мм}$

2. Для определения погонных реактивных параметров находим среднегеометрическое расстояние между фазами.

При заданном расположении проводов на опоре  $D_{cp} = D_{мф} = 1500 \text{ мм}$

3. Определяем погонное индуктивное сопротивление:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_c}{\frac{d_{np}}{2}} + 0,0157 = 0,144 \lg \frac{1500}{\frac{6,4}{2}} + 0,0157 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

4. Определяем соотношение между активным и индуктивным сопротивлением:

$$\frac{r}{x} = \frac{r_0}{x_0} = \frac{1,14}{0,4} = 2,85, \text{ т.е. } r_0 > x_0$$

5. Определяем погонную емкостную проводимость:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}} * 10^{-6} = \frac{7,58}{2,67} * 10^{-6} = 2,84 * 10^{-6} \text{ Ом/км}$$

6. Определяем погонное значение зарядной мощности

$$Q_{cp} = U_{ном}^2 b_0 = 6000^2 * 10^{-3} * 2,84 * 10^{-6} = 0,1 \text{ кВАр/км}$$

7. Определяем зарядную мощность всей линии:

$$Q_c = Q_{c0} l = 0,1 * 4 = 0,4 \text{ кВАр}$$

8. Для оценки относительной величины зарядной мощности определяем передаваемую по линии мощность, ориентировочно полагая, что рабочая плотность тока составляет  $1 \text{ А/мм}^2$ . При этом ток в фазе линии:

$$I = jF = 1 * 25 = 25 \text{ A}$$

$$S_{\text{пер}} = \sqrt{3}IU_{\text{ном}} = \sqrt{3} * 25 * 6 = 260 \text{ кВА}$$

$$Q_c = \frac{Q_c}{S_{\text{пер}}} * 100 \% = \frac{0,4}{260} * 100 \% = 0,154 \%$$

Этот результат показывает, что в схеме замещения рассматриваемой линии, емкостной проводимостью можно пренебречь.

9. Схема замещения (рис. 1.2.) и ее параметры:

$$x = x_0 l = 0,4 * 4 = 1,6 \text{ Ом}$$

$$r = r_0 l = 1,14 * 4 = 4,56 \text{ Ом}$$

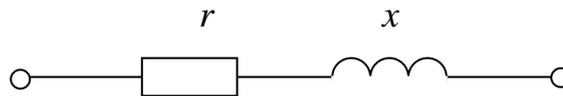


Рисунок 1.2.

### Задание для самостоятельной работы.

1. Определить погонные параметры одноцепной воздушной линии (ВЛ) 6 кВ с проводами марки А16, расположенными на одностоечных опорах по вершинам равностороннего треугольника, расстояние между фазами 1,5 м (см. рис. 1.1). Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 5 км.

2. Определить погонные параметры одноцепной воздушной линии (ВЛ) 6 кВ с проводами марки А50, расположенными на одностоечных опорах по вершинам равностороннего треугольника, расстояние между фазами 2,5 м (см. рис. 1.1). Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 6 км.

3. Определить погонные параметры одноцепной воздушной линии (ВЛ) 6 кВ с проводами марки А70, расположенными на одностоечных опорах по вершинам равностороннего треугольника, расстояние между фазами 3,5 м (см. рис. 1.1). Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 8 км.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

**Тема:** Параметры электрических сетей.

**Цель:** Определение погонных параметров двухцепной ВЛ.

### Задача.

Определить погонные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ с проводами марки АС150/24, расположенными на П-образных деревянных опорах, с расстоянием между соседними фазами по горизонтали 4 м. Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 100 км.

**Решение:**

1. Определяем погонные параметры: активное сопротивление и диаметр провода марки АС150/24 по данным ГОСТ 839-74:  
 $r_0 = 0,194 \text{ Ом/км}$  ,  $d_{np} = 17,1 \text{ мм}$

2. Для определения погонных реактивных параметров находим среднегеометрическое расстояние между проводами, которое при горизонтальном расположении проводов составляет:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{2} D_{мф} = \sqrt[3]{2} * 4000 = 5040 \text{ мм}$$

3. Определяем величину выражения:

$$\lg \frac{D_{cp}}{d_{np}/2} = \lg \frac{5040}{17,1/2} = 2,77 \text{ Ом/км}$$

4. Определяем погонные значения индуктивного сопротивления и емкостной проводимости:

$$x_0 = 0,144 * 2,77 + 0,0157 = 0,416 \text{ Ом/км}$$

$$b_0 = \frac{7,58}{2,77} * 10^{-6} = 2,74 * 10^{-6} \text{ См/км}$$

5. Определяем соотношение между активным и индуктивным сопротивлением:

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,194}{0,416} = 0,467, \text{ т.е. } r_0 < x_0$$

6. Определяем погонное значение зарядной мощности

$$Q_{c0} = U_{ном}^2 b_0 = 110^2 * 10^{-3} * 2,74 * 10^{-6} = 33,2 \text{ кВАр/км}$$

7. Определяем зарядную мощность всей линии:

$$Q_c = Q_{c0} l = 33,2 * 100 * 10^{-3} = 3,32 \text{ мВАр (для одной цепи)}$$

8. Для оценки относительной величины зарядной мощности определяем передаваемую по одной цепи мощность и относительную величину зарядной мощности (для  $j=1 \text{ А/мм}^2$ ):

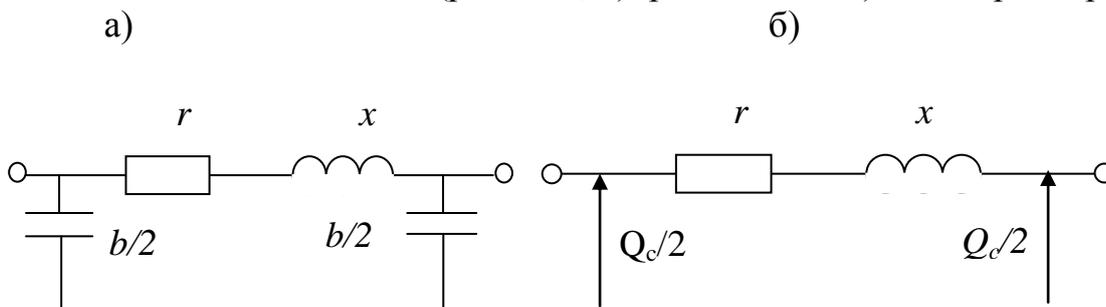
$$I = jF = 1 * 150 = 150 \text{ А}$$

$$S_{пер} = \sqrt{3} I U_{ном} = \sqrt{3} * 150 * 110 = 28,6 \text{ мВА}$$

$$Q_c = \frac{Q_c}{S_{пер}} * 100 \% = \frac{3,32}{28,6} * 100 \% = 11,6 \%$$

Следовательно, емкостная проводимость должна быть учтена в схеме замещения рассматриваемой линии.

9. Схема замещения (рис. 1.3., б) приближенная и ее параметры:



$$x = \frac{x_0 l}{2} = \frac{0,416 * 100}{2} = 20,8 \text{ Ом} \quad r = \frac{r_0 l}{2} = \frac{0,194 * 100}{2} = 9,7 \text{ Ом}$$

$$\frac{b}{2} = \frac{2b_0 l}{2} = \frac{2 * 2,74 * 10^{-6} * 100}{2} = 2,74 * 10^{-4} \text{ См}$$

$$\frac{Q_c}{2} = \frac{2Q_{c0} l}{2} = \frac{2 * 33,2 * 100}{2} = 3,32 \text{ мВАр}$$

### Задание для самостоятельной работы.

1. Определить погонные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ с проводами марки АС120/19, расположенными на П-образных деревянных опорах, с расстоянием между соседними фазами по горизонтали 5 м. Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 120 км.

2. Определить погонные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ с проводами марки АС185/29, расположенными на П-образных деревянных опорах, с расстоянием между соседними фазами по горизонтали 8 м. Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 130 км.

3. Определить погонные параметры двухцепной ВЛ 110 кВ с проводами марки АС 95/16, расположенными на П-образных деревянных опорах, с расстоянием между соседними фазами по горизонтали 4 м. Составить схему замещения такой линии и вычислить ее параметры, принимая длину линии равной 90 км.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

**Тема:** Параметры электрических сетей.

**Цель:** Определение погонных параметров одноцепной ВЛ 500 кВ.

### Задача.

Определить погонные параметры одноцепной ВЛ 500 кВ, выполненной с расположением проводов фазы по вершинам равностороннего треугольника с расстоянием между центрами расщепленных фаз по горизонтали 11 м. Погонное значение среднегодовых потерь активной мощности на корону равно 7,5 кВт/км. Определить также волновое сопротивление, коэффициент распространения волны и натуральную мощность линии, пренебрегая активными сопротивлениями и проводимостью.

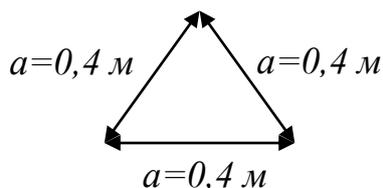


Рисунок 1.4

Решение:

1. Определяем погонное активное сопротивление и диаметр провода (ГОСТ 839-74):  $r_{0np} = 0.059 \text{ Ом/км}$      $d_{np} = 30,6 \text{ мм}$

При числе проводов в фазе  $n=3$ , погонное активное сопротивление фазы линии равно:

$$r_0 = \frac{r_{0np}}{n} = \frac{0.059}{3} = 0.0197 \text{ Ом/км}$$

2. Среднегеометрическое расстояние между центрами фаз:

$$D_{cp} = 1,26 * 11000 = 13900 \text{ мм}$$

3. Определяем эквивалентный радиус расщепленной фазы:

$$R_3 = \sqrt[n]{\frac{d_{np}}{2} a^{n-1}} = \sqrt[3]{\frac{30.6}{2} 400^2} = 135 \text{ мм}$$

4. Определяем соотношение  $\lg \frac{D_{cp}}{R_3} = \lg \frac{13900}{135} = 2.013$

5. Погонное значение индуктивного сопротивления и емкостной проводимости:

$$x_0 = 0.144 \lg \frac{D_{cp}}{R_3} + \frac{0,0157}{n} = 0.144 * 2.013 + \frac{0.0157}{3} = 0.295 \text{ Ом/км}$$

$$b_0 = \frac{7.58 * 10^{-6}}{\lg \frac{D_{cp}}{R_3}} = \frac{7,58 * 10^{-6}}{2,013} = 3,77 * 10^{-6} \text{ См/км}$$

6. Определяем соотношение между активным и индуктивным сопротивлением:

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0.0197}{0.295} = 0.067 \text{ , т.е. } r_0 \ll x_0$$

7. Погонное значение активной проводимости:

$$g_0 = \frac{\Delta P_{кор а}}{U_{ном}^2} = \frac{7,5 * 10^3}{500^2} = 3 * 10^{-8} \text{ См/км}$$

Сопоставляя  $g_0$  и  $b_0$  видим, что  $b_0$  на два порядка выше  $g_0$ .

8. Погонное значение зарядной мощности:

$$Q_{c0} = U_{ном}^2 I_0 = 500^2 * 3.77 * 10^{-6} = 0.942 \text{ мВАр/км}$$

9. Волновое сопротивление (пренебрегаем  $g_0$  и  $r_0$ )

$$Z_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} = \sqrt{\frac{0.295}{3.77 * 10^{-6}}} = 280 \text{ Ом}$$

10. Коэффициент распространения волны  $\gamma_0$  при принятых допущениях равный коэффициенту изменения фазы  $\alpha_0$

$$|\gamma_0| = \alpha_0 = \sqrt{x_0 b_0} = \sqrt{0.295 * 3.77 * 10^{-6}} = 1.05 * 10^{-3} \text{ рад/км}$$

или переводя в электрические градусы:

$$\alpha_0 = 1,05 * 10^{-3} \frac{360}{\pi} = 0,114 \text{ эл.град./км}$$

10. Естественная мощность линии:

$$P_{уст} = \frac{U_{ном}^2}{Z_c} = \frac{500^2}{280} = 893 \text{ мВт}$$

### **Задание для самостоятельной работы.**

1. Определить погонные параметры одноцепной ВЛ 500 кВ, выполненной с расположением проводов фазы по вершинам равностороннего треугольника с расстоянием между центрами расщепленных фаз по горизонтали 10 м. Погонное значение среднегодовых потерь активной мощности на корону равно 8,5 кВт/км. Определить также волновое сопротивление, коэффициент распространения волны и натуральную мощность линии, пренебрегая активными сопротивлениями и проводимостью.

2. Определить погонные параметры одноцепной ВЛ 500 кВ, выполненной с расположением проводов фазы по вершинам равностороннего треугольника с расстоянием между центрами расщепленных фаз по горизонтали 14 м. Погонное значение среднегодовых потерь активной мощности на корону равно 8,5 кВт/км. Определить также волновое сопротивление, коэффициент распространения волны и натуральную мощность линии, пренебрегая активными сопротивлениями и проводимостью.

3. Определить погонные параметры одноцепной ВЛ 500 кВ, выполненной с расположением проводов фазы по вершинам равностороннего треугольника с расстоянием между центрами расщепленных фаз по горизонтали 7 м. Погонное значение среднегодовых потерь активной мощности на корону равно 5,5 кВт/км. Определить также волновое сопротивление, коэффициент распространения волны и натуральную мощность линии, пренебрегая активными сопротивлениями и проводимостью.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4**

**Тема:** Схема замещения трансформаторов.

**Цель:** Определение активного и индуктивного сопротивлений обмотки трансформатора, активной и реактивной проводимости намагничивания.

### **Задача**

**Дано:**

Трансформатор типа ТД – 16000/35;

$S_{ном} - 16000$  кВА;

$U_{номВ} - 38,5$  кВ;

$\Delta P_{кз} - 90$  кВт;

$U_{кз} - 8,0\%$ ;

$\Delta P_{хх} - 21$  кВт;

$I_{хх} - 0,6\%$ .

Определить параметры схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора.

**Решение:**

Определим активное сопротивление обмотки трансформатора  $r_T$ :

$$r_T = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{21 \cdot 10^{-3} \cdot 38,5^2}{16^2} = 0,521 \text{ Ом.}$$

Далее определяем индуктивное сопротивление трансформатора  $x_T$ :

$$x_T = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{8 \cdot 38,5^2}{100 \cdot 16} = 7,411 \text{ Ом.}$$

Активную проводимость намагничивания определим следующим образом:

$$g_T = \frac{\Delta P_x}{U_{\text{ном}}^2} = \frac{21 \cdot 10^{-3}}{38,5^2} = 1,417 \times 10^{-5} \text{ См.}$$

Далее определим реактивную проводимость намагничивания:

$$b_T = \frac{I_{x.x.} \% \cdot S_{\text{ном}}}{100 \cdot U_{\text{ном}}^2} = \frac{0,6 \cdot 16}{100 \cdot 38,5^2} = 6,477 \times 10^{-5} \text{ См.}$$

Для трансформаторов при напряжении менее или равном 220 кВ допустимо использование схемы замещения, где ветвь намагничивания замещена мощностью потерь холостого хода.

$$\Delta \underline{S}_x = \Delta P_{x.x.} + j \Delta Q_x$$

Потери реактивной мощности определим следующим образом:

$$\Delta Q_x = \frac{I_{x.x.} \cdot S_{\text{ном}}}{100} = \frac{0,6 \cdot 16}{100} = 0,096 \text{ Мвар.}$$

Тогда:

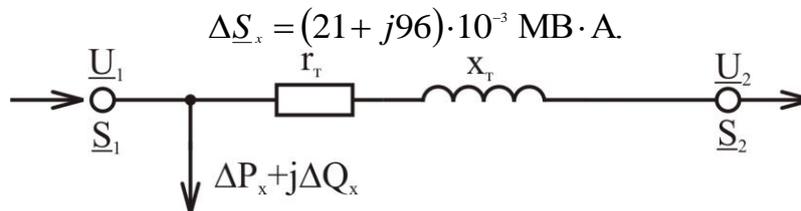


Рисунок 1.1. Схема замещения трансформатора.

**Задание для самостоятельной работы.**

Вариант	Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , кВА;	$U_{\text{номВ}}$ , кВ	$\Delta P_{\kappa 3}$ , кВт	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$U_{\kappa 3}$ , %	$I_{xx}$ , %
1	ТМ-160/35	160	0,4	3,1	0,62	6,8	2,4
2	ТМ -630/35	630	0,4	7,6	1,6	6,5	2
3	ТМ-400/35	400	0,4	5,5	1,2	6,5	2,1
4	ТМН-630/35	630	6,3	7,6	1,6	6,5	2
5	ТМ-1000/35	1000	0,69	11,6	2,0	6,5	1,4
6	ТД-10000/35	10000	10,5	70	18	8	0,6
7	ТМ-6300/35	6300	3,15	46,5	7,6	7,5	0,8
8	ТМ-1600/35	1600	0,69	18	2,75	6,5	1,3
9	ТМ-4000/35	4000	3,15	33,5	5,3	7,5	0,9
10	ТМ-2500/35	2500	3,15	23,5	3,9	6,5	1

**Контрольные вопросы.**

1. Приведите графическое изображение двухобмоточного трансформатора.
2. Приведите схему замещения двухобмоточного трансформатора.
3. Назовите каталожные (паспортные) данные трансформатора.
4. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
5. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

**Тема:** Схемы замещения трансформаторов.

**Цель:** Определение параметров схемы замещения трехфазного трехобмоточного трансформатора.

### Задача

Дано:

Трансформатор типа ТМТН – 10000/35

$S_{ном} – 10 \text{ МВА};$

$U_{ном} – 36,75 \text{ кВ};$

$\Delta P_{кз} – 75 \text{ кВт};$

$U_{кз В.С.} – 16,5\%;$

$U_{кз В.Н.} – 8,0\%;$

$U_{кз С.Н.} – 7,2\%;$

$\Delta P_{xx} – 18 \text{ кВт};$

$I_{xx} – 0,85\%.$

Определите параметры схемы замещения трехфазного трехобмоточного трансформатора, отнесенные к высшему напряжению.

### Решение:

Соотношения между мощностями обмоток равны 100/100/100% (стр. 220, Ю.Г. Барыбин, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова, А.Г. Смирнова, Справочник по проектированию электроснабжения; стр. 374, В.М.Блок, Электрические сети и системы).

Определим потери активной мощности и напряжения КЗ, соответствующие лучам схемы замещения:

Т.к. мощности всех трех обмоток равны т. е.

$$\Delta P_{к.в.} = \Delta P_{к.с.} = \Delta P_{к.н.} = 0,5 \cdot 75 = 37,5 \text{ кВт};$$

Напряжения К.З. равны:

$$u_{K.B.} = 0,5 \cdot (u_{K.B.H.} + u_{K.B.C.} - u_{K.C.H.}) = 0,5 \cdot (8 + 16,5 - 7,2) = 8,65\%;$$

$$u_{K.C.} = 0,5 \cdot (u_{K.B.C.} + u_{K.C.H.} - u_{K.B.H.}) = 0,5 \cdot (16,5 + 7,2 - 8) = 7,85\%;$$

$$u_{K.H.} = 0,5 \cdot (u_{K.B.H.} + u_{K.C.H.} - u_{K.B.C.}) = 0,5 \cdot (8 + 7,2 - 16,5) = 0.$$

Для трехобмоточного трансформатора активные сопротивления лучей схемы замещения определяются по выражению  $r_{T.i.} = \frac{\Delta P_{K.i.} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2}$ ;

$$r_{T.B.} = \frac{\Delta P_{K.B.} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{75 \times 10^{-3} \cdot 36,5^2}{10^2} = 0,506 \text{ Ом};$$

$$r_{T.B.} = r_{T.C.} = r_{T.H.} = 0,506 \text{ Ом}.$$

Индуктивные сопротивления лучей в схеме замещения определим по следующей формуле -  $X_{T.i.} = \frac{u_{K.i.} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}$ :

$$X_{T.B.} = \frac{u_{K.B.} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{8,65 \cdot 36,5^2}{100 \cdot 10} = 11,682 \text{ Ом};$$

$$X_{T.C.} = \frac{u_{K.C.} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{7,85 \cdot 36,5^2}{100 \cdot 10} = 10,602 \text{ Ом};$$

$$X_{T.H.} = \frac{u_{K.H.} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = 0.$$

Потери реактивной мощности определим следующим образом:

$$\Delta Q_{X.X.} = \frac{I_{X.X.} \cdot S_{НОМ}}{100} = \frac{0,85 \cdot 10}{100} = 0,085 \text{ МВар}.$$

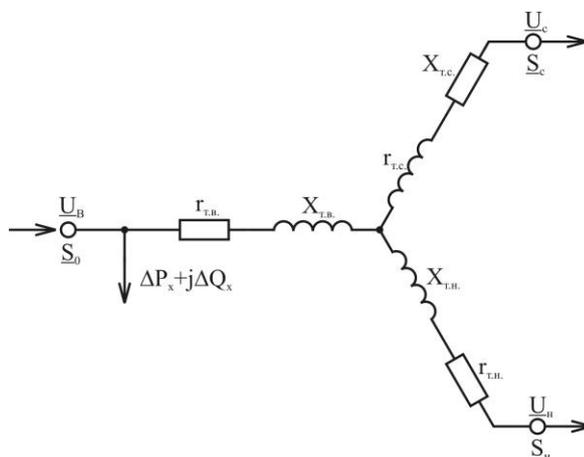


Рис. 1. Схема замещения трансформатора.

### Задание для самостоятельной работы.

Вариант	Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , МВА;	$U_{НОМВ}$ , кВ	$\Delta P_{K3}$ , кВт	$\Delta P_{XX}$ , кВт	$U_{K3BC}$ , %	$U_{K3BH}$ , %	$U_{K3CH}$ , %	$I_{XX}$ , %
1	ТМТН-6300/35	6,3	35	55	12	7,5	7,5	16,5	0,85
2	ТМТН-16000/35	16,0	36,73	115	23	17	8	7,5	0,65

### Контрольные вопросы.

1. Приведите графическое изображение трехфазного трансформатора.
2. Приведите схему замещения трехобмоточного трансформатора.
3. Назовите каталожные (паспортные) данные трехобмоточного трансформатора.
4. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
5. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

**Тема:** Схемы замещения трансформаторов.

**Цель:** Определение параметров схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора.

### Задача

Дано:

Трансформатор типа ТРДНС – 32000/35;

$S_{НОМ} – 32000$  кВА;

$U_{НОМВ} – 36,75$  кВ;

$U_{НОМНН} – 10,5/10,5$  кВ;

$\Delta P_{кз} – 145$  кВт;

$U_{кз} – 11,5\%$ ;

$\Delta P_{хх} – 30$  кВт;

$I_{хх} – 0,45\%$ .

Определить параметры схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора.

### Решение:

Определим сопротивления обмоток трансформатора. Сквозное (общее) сопротивление будет равно:

$$r_{общ.} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{145 \times 10^3 \cdot 36,75^2}{32000^2} = 0,191 \text{ Ом};$$
$$X_{общ.} = \frac{u_{к.з.} \times 10^3 \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{11,5 \times 10^3 \cdot 36,75^2}{100 \cdot 32000} = 4,854 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление трансформатора распределяется между его обмотками в соотношении:

$$r_{B.} = 0,5 \cdot r_{общ.} = 0,5 \cdot 0,191 = 0,096 \text{ Ом};$$

$$X_{B.} = 0,125 \cdot X_{общ.} = 0,125 \cdot 4,854 = 0,607 \text{ Ом};$$

$$r_{НН1} = r_{НН2} = r_{общ.} = 0,191 \text{ Ом};$$

$$X_{НН1} = X_{НН2} = 1,175 \cdot X_{B.} = 1,175 \cdot 0,607 = 0,713 \text{ Ом}.$$

Если приближенно считать, что  $\underline{Z}_B = 0$ , а все сопротивление трансформатора сосредоточено в обмотках НН то:

$$\underline{Z}_{НН1} = \underline{Z}_{НН2} = 2 \cdot \underline{Z}_{общ.} = 2 \cdot (0,191 + j4,854) = 0,382 + j1,426 \text{ Ом}.$$

Реактивные потери мощности холостого хода:

$$\Delta Q_{X.X.} = \frac{I_{X.X.} \cdot S_{НОМ}}{100} = \frac{0,45 \cdot 32000}{100} = 144 \text{ кВар}.$$

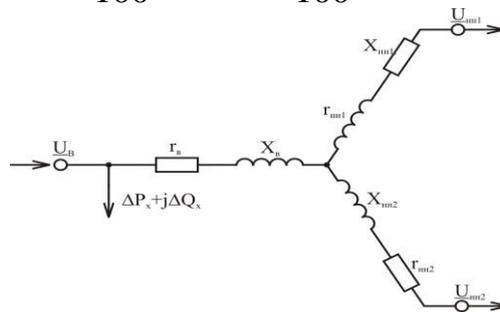


Рисунок 1. Схема замещения трансформатора.

### Задание для самостоятельной работы.

Вариант	Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , кВА;	$U_{НОМВ}$ , кВ	$U_{НОМНН}$ , кВ	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{хх}$ , %
1	ТРДН-25000/35	25000	36,75	6,3/6,3	145	29	9,5	0,7
2	ТД-40000/35	40000	38,50	6,3/10,5	180	39	8,5	0,65
3	ТРДН-40000/35	40000	36,75	6,3/6,3	225	39	8,5	0,65
4	ТРДН-63000/35	63000	36,75	6,3/6,3	280	55	11,5	0,60
5	ТДЦ-80000/35	80000	38,50	6,3	330	65	9,0	0,60
6	ТДН-25000/35	25000	36,75	10,5	125	29	8,0	0,70
7	ТДНС-25000/35	25000	36,75	6,3	135	29	10,0	0,70
8	ТДНС-16000/35	16000	36,75	6,3	105	21	10,0	0,75
9	ТДН-16000/35	16000	36,75	6,3	90	21	8,0	0,75
10	ТДНС-10000/35	10000	36,75	6,3	85	14,50	14,0	0,80

### Контрольные вопросы.

1. Приведите графическое изображение трехфазного двухобмоточного трансформатора.
2. Приведите схему замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора.
3. Назовите каталожные (паспортные) данные трехфазного двухобмоточного трансформатора.
4. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
5. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

**Тема:** Схемы замещения трансформаторов.

**Цель:** Определение потери мощности в обмотках трансформатора.

### Задача

Дано:

**Тип трансформатора: ТДЦТН – 10000/35;**

**Параметры трансформатора:**

$$S_{\text{ном}} = 10 \text{ МВА}; U_{\text{ном}} = 36,75 \text{ кВ}; u_{\text{к.з.ВС}} = 16,5\%;$$

$$u_{\text{к.з.ВН}} = 8\%; u_{\text{к.з.СН}} = 7,2\%; \Delta P_{\text{к.з.}} = 75 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{х.х.}} = 18 \text{ кВт}; I_{\text{х.х.}} = 0,85\%; r_{\text{мв}} = r_{\text{мс}} = r_{\text{ми}} = 0,506 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{мв}} = 11,682 \text{ Ом}; X_{\text{мс}} = 10,602 \text{ Ом}.$$

**Мощность на шинах низшего напряжения:  $S_3 = 6 + j0,7$  МВА;**

**Мощность на шинах среднего напряжения:  $S_2 = 3 + j2$  МВА;**

**Определить потери мощности в обмотках трансформатора.**

**Решение:**

Используя данные сопротивлений обмоток, полученные в практической работе №3, потери реактивной мощности будем определять по формуле:

$$\Delta P_m = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R_{m.i};$$

**Соответственно:**

$$\Delta P_{\text{м.н.}} = \frac{6^2 + 0,7^2}{36,75^2} \cdot 0,506 = 0,014 \text{ МВт};$$

**Реактивные потери  $\Delta Q_{\text{м.н.}}$  в этой обмотке будут равны нулю так как реактивное сопротивление этой обмотки равно нулю.**

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = \frac{3^2 + 2^2}{36,75^2} \cdot 0,506 = 0,005 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{\text{м.с.}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X_{\text{м.с.}} = \frac{3^2 + 2^2}{36,75^2} \cdot 10,602 = 0,102 \text{ МВар};$$

**Мощность первичной обмотки трансформатора:**

$$P_1 + jQ_1 = S_3 + \Delta P_{\text{м.н.}} + S_2 + \Delta P_{\text{м.с.}} + \Delta Q_{\text{м.с.}} = 6 + j0,7 + 0,014 + \\ + 3 + j2 + 0,005 + 0,102 = 9,121 + j2,7 \text{ МВА}$$

**Потери мощности в обмотке ВН трансформатора:**

$$\Delta P_{\text{м.в.}} = \frac{P_1 + jQ_1}{U^2} \cdot R_{\text{м.в.}} = \frac{9,121^2 + 2,7^2}{36,75^2} \cdot 0,506 = 0,034 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{\text{м.в.}} = \frac{P_1 + jQ_1}{U^2} \cdot X_{\text{м.в.}} = \frac{9,121^2 + 2,7^2}{36,75^2} \cdot 11,682 = 0,783 \text{ МВар}.$$

### Задание для самостоятельной работы.

Вариант	Тип трансформатора	$S_{ном}$ МВА	$U_{номВ}$ кВ	$\Delta P_{кз}$ ,кВт	$\Delta P_{xx}$ ,кВт	$U_{кзBC}$ %	$U_{кзВН}$ %	$U_{кзСН}$ %	$I_{xx}$ %	Мощность на шинах НН, МВА	Мощность на шинах СН, МВА
1	ТМТН-6300/35	6,3	35	55	12	7,5	7,5	16,5	0,85	$S_3 =$ <b><math>3+j0,5</math></b>	$S_2 = 2+j2$
2	ТМТН-16000/35	16,0	36,73	115	23	17	8	7,5	0,65	$S_3 =$ <b><math>4+j0,8</math></b>	$S_2 = 4+j3$

Значения  $r_{тв} = r_{мс} = r_{тн}$  и  $x_{тв}, x_{мс}$  принимаем из предыдущей практической работы.

#### Контрольные вопросы.

1. Приведите графическое изображение трансформатора.
2. Приведите схему замещения двухобмоточного трансформатора.
3. Назовите каталожные (паспортные) данные трансформатора.
4. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
5. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

**Тема:** Схемы замещения трансформаторов.

**Цель:** Определение потери активной и реактивной мощности, и потери электрической энергии за год.

#### Задача

Дано:

**Тип трансформатора:** ТД – 16000/35;

**Количество трансформаторов:**  $n = 2$ ;

**Параметры трансформаторов:**

$S_{ном} = 16$  МВА;  $U_{ном} = 38,5$  кВ;  $u_{к.з.} = 8\%$ ;

$\Delta P_{к.з.} = 90$  кВт;  $\Delta P_{x.x.} = 21$  кВт;  $I_{x.x.} = 0,6\%$ .

**Максимальная нагрузка:**  $S_{max} = 22,4$  МВА;

**Время использования максимальной нагрузки:**  $T_{max} = 3200$  час;

**Коэффициент мощности нагрузки:**  $\cos \varphi = 0,8$

**Определить потери активной и реактивной мощности, а также потери эл. энергии за год.**

**Решение:**

**Потери активной мощности в параллельно работающих трансформаторах равны:**

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot S_{max}^2}{n \cdot S_{ном}^2} + n \cdot P_{x.x.} = \frac{90 \cdot 22400^2}{2 \cdot 16000^2} + 2 \cdot 21 = 130,2 \text{ кВт};$$

**Потери реактивной мощности в параллельно работающих трансформаторах:**

$$\Delta Q_{т.} = \frac{u_{к.э.} \cdot S_{\max}^2}{100 \cdot n \cdot S_{ном}} + \frac{I_{х.х.} \cdot n \cdot S_{ном.}}{100} = \frac{8 \cdot 22400^2}{100 \cdot 2 \cdot 16000^2} + \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 16000}{100} = 1446,4 \text{ квар.}$$

По кривым, используемым при расчетах искусственным методом (А. А. Герасименко, В. Т. Федин; Передача и распределение электрической энергии, рис. 9.2; стр. 390, 2006г.) определяем, что при  $T_{\max} = 3200$  час; и  $\cos \varphi = 0,8$  время наибольших потерь  $\tau$ , будет равно 2125.

Тогда:

$$\Delta A = \frac{\Delta P_{к.э.} \cdot S^2}{n \cdot S_{ном}^2} \cdot \tau + n \cdot \Delta P_{х.х.} \cdot t = \frac{90 \cdot 22400^2}{2 \cdot 16000^2} \cdot 2125 + 2 \cdot 21 \cdot 8760 = 555345 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

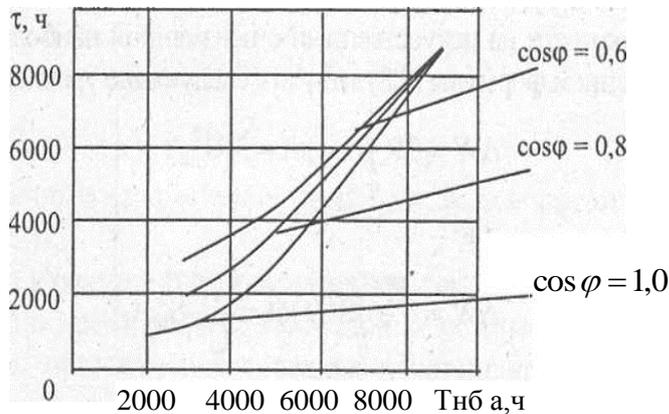


Рисунок 1. Зависимости времени наибольших потерь от времени использования наибольшей нагрузки

**Задание для самостоятельной работы.**

Вариант должен соответствовать варианту практической работы №4.

Вариант	Тип трансформатора	$S_{ном}$ , МВА;	$U_{номв}$ , кВ	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{хх}$ , %	$S_{max}$ , МВА	$T_{max}$ , час	$\cos \varphi$
1	ТМ-160/35	0,160	0,4	3,1	0,62	6,8	2,4	0,2	3200	0,6
2	ТМ -630/35	0,630	0,4	7,6	1,6	6,5	2	1,2	3200	0,8
3	ТМ-400/35	0,400	0,4	5,5	1,2	6,5	2,1	1,5	3200	1,0
4	ТМН-630/35	0,630	6,3	7,6	1,6	6,5	2	1,8	3200	0,8
5	ТМ-1000/35	1	0,69	11,6	2,0	6,5	1,4	2,3	3200	0,6
6	ТД-10000/35	10	10,5	70	18	8	0,6	12,2	3200	1,0
7	ТМ-6300/35	6,300	3,15	46,5	7,6	7,5	0,8	9,8	3200	0,8
8	ТМ-1600/35	1,600	0,69	18	2,75	6,5	1,3	5,6	3200	0,6
9	ТМ-4000/35	4	3,15	33,5	5,3	7,5	0,9	8,1	3200	0,8
10	ТМ-2500/35	2,500	3,15	23,5	3,9	6,5	1	6,5	3200	1,0

**Контрольные вопросы.**

1. Приведите графическое изображение трехфазного трансформатора.
2. Приведите схему замещения трехобмоточного трансформатора.

3. Назовите каталожные (паспортные) данные трехобмоточного трансформатора.
4. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
5. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

**Тема:** Расчеты режимов электрических сетей.

**Цель:** Определение потери мощности в линии.

### Задача

**Дано:**

**Мощность, потребляемая заводом:**  $S = 6 + j0,7$  МВА;

**Номинальное напряжение:**  $U_{ном} = 110$  кВ;

**Параметры ЛЭП:**

**Длина -**  $l = 100$  км;

**Марка провода – АС 95/16;**

**Диаметр провода -**  $d_{пр} = 13,5$  мм;

**Определить потери мощности в линии.**

**Решение:**

**Зададимся начальными параметрами линии:**

$r_0 = 0,306$  Ом/км;  $x_0 = 0,429$  Ом/км;  $b_0 = 2,64 \cdot 10^{-6}$  См/км

**Тогда:**

$$R_x = r_0 \cdot l = 0,306 \cdot 100 = 30,6 \text{ Ом};$$

$$X_x = x_0 \cdot l = 0,429 \cdot 100 = 42,9 \text{ Ом}.$$

**Мощность, генерируемая линией:**

$$Q_c = (0,97 \cdot U_{ном})^2 \cdot b_0 \cdot l = \quad ;$$

$$= (0,97 \cdot 110)^2 \cdot 2,64 \times 10^{-6} \cdot 100 = 3,006 \text{ Мвар}$$

**Определим нагрузку на конце линии, учитывая, что в схеме замещения половина реактивной проводимости включена в конце линии:**

$$S_2 = P_2 + jQ_2 - 0,5jQ_c = 6 + j0,7 - 0,5j3,006 =$$

$$= 6 - j0,803 \text{ МВА}.$$

**Потери мощности в линии:**

$$\Delta P_x = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot R_x = \frac{6^2 - 0,803^2}{(0,97 \cdot 110)^2} \cdot 30,6 = 0,092 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_x = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot X_x = \frac{6^2 - 0,803^2}{(0,97 \cdot 110)^2} \cdot 42,9 = 0,133 \text{ Мвар}.$$

**Полная потеря мощности составляет:**

$$\underline{\Delta S} = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} = \sqrt{0,092^2 + 0,133^2} = 0,162 \text{ МВА};$$

**Эта величина составляет от потребляемой мощности:**

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{0,162}{\sqrt{6^2 + 0,7^2}} \cdot 100 = 2,682\%$$

**Задание для самостоятельной работы.**

Вариант	Марка провода	Номинальное напряжение $U_{номВ}$ кВ	Длина линии, км	диаметр провода, мм	Мощность, потребляемая заводом, МВА
1.	АС 70	110	80	11,3	$S=5+j0,5$
2.	АС120	150	120	15,2	$S=8+j0,5$
3.	АС 240	220	100	21,6	$S=4+j0,7$
4.	АС 70	110	130	11,3	$S=6+j0,8$
5.	АС120	150	160	15,2	$S=5+j0,9$

**Контрольные вопросы.**

1. Дайте определение ЛЭП.
2. Перечислите виды ЛЭП.
3. Какова классификация линий электропередачи переменного тока?
4. Какие линии составляют системы передачи и распределения электрической энергии?
5. Каковы основные принципы построения схем передачи ЭЭ?
6. Что образует систему ЭЭ? Каким требованиям она должна соответствовать?
7. Какие возможны этапы развития системы передачи ЭЭ?
8. Что понимается под пропускной способностью электропередачи?

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10**

**Тема:** Расчеты режимов электрических сетей.

**Цель:** Определение потери мощности и энергии в воздушной ЛЭП.

**Задача**

Дано:

**Воздушная ЛЭП:**

**Марка провода – АС 95/16**

**Номинальное напряжение:**  $U_{ном} = 110$  кВ;

**Максимальная нагрузка потребителя:**  $P_{max} = 4700$  кВт;

**Коэффициент мощности:**  $\cos \varphi = 0,9$ ;

**Годовое потребление энергии:**  $W_{год} = 26,4 \times 10^6$  кВт·час.

**Определите потери мощности и энергии в воздушной ЛЭП.**

**Решение:**

Из таблицы 7.35 стр. 428 «Электрическая часть электростанции и подстанций» Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков находим погонное активное сопротивление провода АС 95/16; оно будет равно  $r_0 = 0,306 \text{ Ом/км}$ .

Следовательно активное сопротивление всей ЛЭП будет равно:

$$R_{\text{л}} = 0,306 \cdot 40 = 12,24 \text{ Ом};$$

Определим потери активной мощности при максимальной нагрузке:

$$\Delta P_{\text{max}} = \left( \frac{P_{\text{max}}}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot R_{\text{л}} \cdot 10^{-3} = \left( \frac{4700}{110} \right)^2 \cdot 12,24 \cdot 10^{-3} = 22,346 \text{ кВт};$$

По кривым, используемым при расчетах искусственным методом (А. А. Герасименко, В. Т. Федин; Передача и распределение электрической энергии, рис. 9.2; стр. 390, 2006г.) определяем при заданном  $\cos \varphi = 0,9$  время наибольших потерь –  $\tau$ . Далее рисунок 1.

Порядок расчета потерь по методу  $\tau$  следующий:

- 1) находим время наибольшей нагрузки, используя годовой график;
- 2) из графиков зависимостей  $\tau = f(T_{\text{ноб}})$ , приведенных в справочной литературе, зная  $\cos \varphi$  и  $T_{\text{ноб}}$ , находим время наибольших потерь;
- 3) определяем потери в режиме наибольшей нагрузки;
- 4) по формуле  $\Delta W = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau$  находим потери энергии за год.

Но для этого сначала найдем время наибольшей нагрузки  $T_{\text{max}}$ :

$$T_{\text{max}} = \frac{W}{P_{\text{max}}} = \frac{26,4 \cdot 10^6}{4700} = 5617 \text{ час.}$$

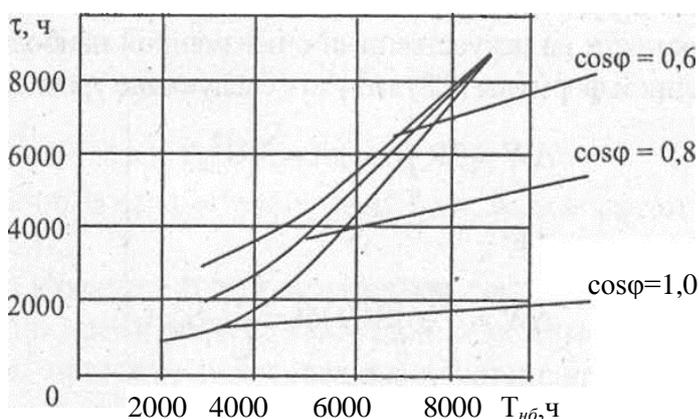


Рисунок 1. Зависимости времени наибольших потерь от времени использования наибольшей нагрузки

Согласно величине времени наибольшей нагрузки -  $\tau = 3600$  час.

Теперь вычислим потери энергии в воздушной ЛЭП за год:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau = 22,342 \cdot 10^3 \cdot 3600 = 8,044 \times 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

### Задание для самостоятельной работы.

Вариант	Марка провода	Номинальное напряжение $U_{номВ}$ , кВ	Максимальная нагрузка потребителя, $P_{max}$ кВт	Коэффициент мощности $\cos\phi$	Годовое потребление энергии: $W_{год}$ , кВт·час.
1.	АС 70	110	4500	0,6	$25,5 \times 10^6$
2.	АС120	150	5200	0,8	$26,8 \times 10^6$
3.	АС 240	220	4800	0,9	$30,5 \times 10^6$
4.	АС 70	110	5500	1,0	$32,7 \times 10^6$
5.	АС120	150	6200	0,8	$35,4 \times 10^6$

### Контрольные вопросы.

Как классифицируются линии электропередачи по конструктивному исполнению?

Какими факторами определяется выбор типа ЛЭП?

Из каких основных конструктивных элементов состоит ВЛ?

Какие материалы применяются для изготовления проводов и грозозащитных тросов?

Какова основная конструкция линии с изолированными проводами?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б.И. Электроснабжение [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. образования / Б.И. Кудрин.- М.: Академия, 2016.- 352с.
2. Савина, Н. В. Техника высоких напряжений. Перенапряжения и защита от них: учебное пособие / Н. В. Савина. — Благовещенск: Амурский государственный университет, 2015. — 191 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/103829.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Афонин, В. В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции: учебное пособие / В. В. Афонин, К. А. Набатов. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 90 с. — ISBN 978-5-8265-1387-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64621.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей
4. Афонин, В. В. Электрические станции и подстанции. В 2 частях. Ч.2.: учебное пособие / В. В. Афонин, К. А. Набатов. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 97 с. — ISBN 978-5-8265-1724-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/85984.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

ЛЕДНЕВА Ирина Сергеевна

**МДК.02.02. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ  
СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)**

Практикум для обучающихся специальности  
13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Корректор Чагова О.Х.  
Редактор Чагова О.Х.

Сдано в набор 18.12.2023 г.  
Формат 60x84/16  
Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Усл. печ. л.1,39  
Заказ № 4847  
Тираж 100 экз.

Оригинал-макет подготовлен  
в Библиотечно-издательском центре СКГА  
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36